

Das Handy im Physikunterricht:

Anwendungsmöglichkeiten eines bisher wenig beachteten Mediums

Sebastian Müller, Patrik Vogt, Jochen Kuhn

Universität Koblenz-Landau/Campus Landau,
INnB – Lehrinheit Physik, Fortstraße 7, 76829 Landau
Korrespondenz an: vogtp@uni-landau.de oder kuhn@uni-landau.de

Kurzfassung

Noch vor zehn Jahren stellte das Mobiltelefon aufgrund der hohen Tarife bei den Kindern und Jugendlichen ein kaum verbreitetes Kommunikationsmedium dar und die hauptsächlichen Funktionen beschränkten sich auf das Telefonieren sowie auf das Versenden von Kurznachrichten. Beide Aspekte haben sich bis zum Jahr 2009 völlig geändert: 52 % der Kinder von 6 bis 13 Jahren besitzen bereits ein Handy (bei den Jugendlichen sind es sogar 95 %), welches sie u. a. zur Tonaufnahme und -wiedergabe oder zum Datenaustausch nutzen. Neben allseits bekannten negativen Effekten im Schulalltag könnten die Mobiltelefone den Physikunterricht an vielen Stellen auch bereichern: Dokumentation und Auswertung von Experimenten durch einen integrierten Fotoapparat bzw. Camcorder (Stichwort „Videoanalyse“), Erzeugung, Aufnahme und Auswertung akustischer Phänomene, Bestimmung der Erdbeschleunigung, Ausbreitung von Schall- und elektromagnetischen Wellen im Vakuum (Handy in der Vakuumglocke) u. v. m. Im Artikel wird eine Auswahl von Nutzungsmöglichkeiten des Mobiltelefons im Physikunterricht dargestellt und diskutiert.

1. Einleitung

Der Artikel gibt einen Überblick zu Nutzungsmöglichkeiten des Mobiltelefons im Schulunterricht und geht dabei insbesondere auf die für das Fach Physik spezifischen Anwendungsmöglichkeiten ein. Im Zentrum des Beitrags steht somit das Experimentiermittel „Handy“, ein Thema, dem die fachdidakti-

sche Forschung bisher nur wenig Beachtung schenkte; erste Versuche mit dem Mobiltelefon werden in [5], [6], [8], [9] und [12] beschrieben. Weitere Anwendungsmöglichkeiten des Handys sind die Informationsrecherche, der Austausch von Daten, die Kommunikation über Unterrichtsinhalte und die Sicherung von Unterrichtsergebnissen (Abb. 1).

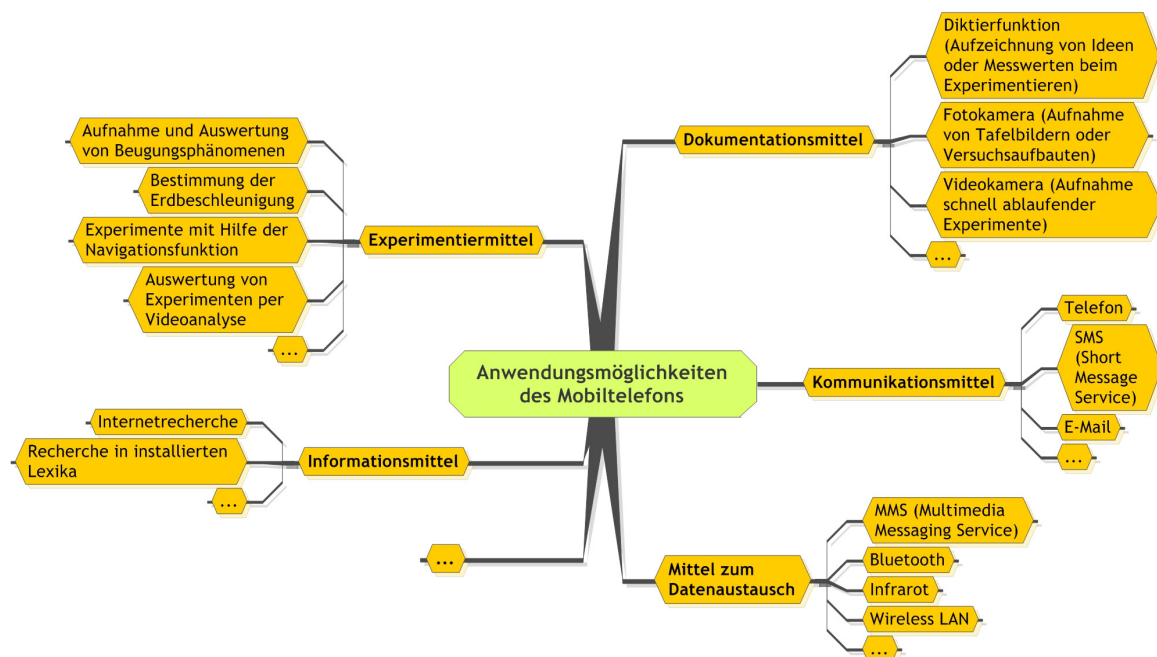


Abb. 1: Anwendungsmöglichkeiten des Mobiltelefons im Rahmen des Physikunterrichts

2. Das Handy als Dokumentationsmittel

Das Handy kann durch seine verschiedenen Funktionen auf unterschiedliche Weise zur Dokumentation im Physikunterricht genutzt werden. Mit Hilfe der Diktierfunktion können z. B. während des Experimentierens Messwerte, auftretende Probleme oder Verbesserungsvorschläge mühelos aufgezeichnet und bei der Auswertung des Versuchs berücksichtigt werden. Die mittlerweile bei nahezu jedem Mobiltelefon standardmäßig eingebaute Fotofunktion ermöglicht darüber hinaus eine zeitsparende Übernahme des im Unterricht entwickelten Tafelbilds (Abb. 2) wie auch das Fotografieren von Versuchsaufbauten (Abb. 3). Das Tafelbild kann dann zu Hause ins Heft übertragen oder – analog zum abgelichteten Versuchsaufbau – ausgedruckt und eingeklebt werden. Dieses Vorgehen stellt gerade dann eine Bereicherung des Unterrichts dar, wenn Physik – wie im Allg. üblich – in Einzelstunden unterrichtet wird. Erfahrungsgemäß bleibt dann nämlich in experimentellen Stunden nur wenig/oft keine Zeit, um die Ergebnisse der Stunde ausreichend zu sichern.

Eine letzte Möglichkeit, das Handy als Dokumentationsmittel einzusetzen, bietet die Videofunktion. Mit ihr können Experimente ohne Aufwand aufgezeichnet und bei der Auswertung des Versuchs oder

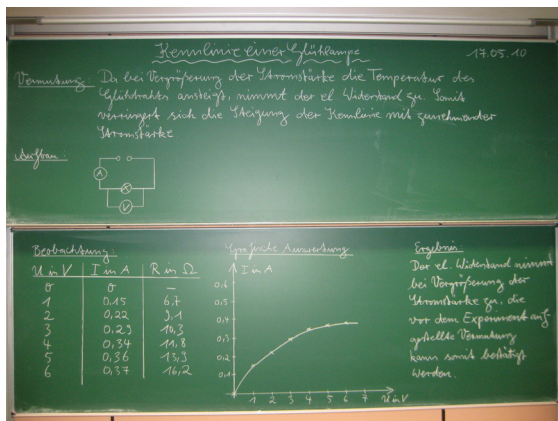


Abb. 2: Ergebnissicherung durch Ablichten des Tafelbildes mit Hilfe der eingebauten Fotokamera



Abb. 3: Fotografieren des Versuchsaufbaus

etwaiger Vorbereitungen (etwa auf die Folgestunde oder auf Überprüfungen) beliebig oft angesehen werden.

Bereits die Tatsache, dass aufgenommene Videosequenzen (z. B. von einer frei fallenden Stahlkugel) mit einschlägiger Software analysiert werden können zeigt, dass das Handy nicht nur als Dokumentations- sondern auch als Experimentiermittel im Physikunterricht eingesetzt werden kann. Weitere Möglichkeiten, das Mobiltelefon als Experimentiermittel zu verwenden, werden im Folgenden beschrieben.

3. Das Handy als Experimentiermittel

3.1. Das Handy unter der Vakuumblocke

Zum experimentellen Nachweis, dass Schallwellen zur Ausbreitung ein Trägermedium benötigen, wird in den meisten Schulbüchern der gleiche Versuch beschrieben (z. B. [2], [3], [7]): Eine unter einer Vakuumblocke platzierte Klingel verstummt, sobald die Luft aus dem Gefäß gepumpt wird. Ersetzt man die Klingel durch ein Mobiltelefon [12], so ist auch dessen Klingelton im Falle eines Vakuums nicht zu hören, obgleich das Aufleuchten des Displays einen ankommenden Anruf bestätigt (Abb. 4). Die Verwendung des Handys bietet jedoch den Vorteil, dass eine der wichtigsten Eigenschaften elektromagnetischer Wellen zusätzlich gefolgert werden kann: Im Gegensatz zu Schallwellen breitet sich elektromagnetische Strahlung auch im Vakuum aus, benötigt zur Ausbreitung also keine Trägersubstanz.

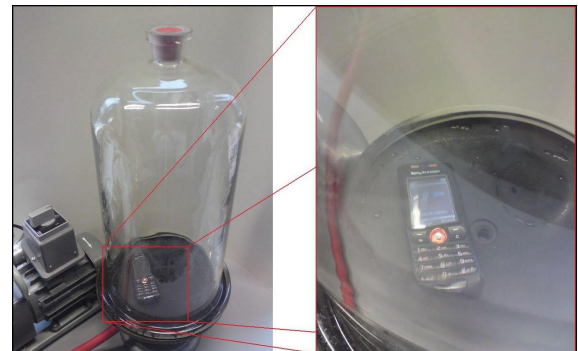


Abb. 4: Das Aufleuchten des Handys zeigt einen eintreffenden Anruf, der Klingelton ist jedoch bei vorhandenem Vakuum nicht zu hören.

3.2. Das Handy macht Infrarotstrahlung sichtbar

Die Tatsache, dass die in Digitalkameras verwendeten CCD-Chips auch für elektromagnetische Wellen im nahen Infrarotbereich empfindlich sind, kann man dazu nutzen, um mit einfachsten Mitteln aus dem Alltag ansprechende Beugungsphänomene darzustellen. Hierzu benötigt man – neben einem Handy mit Fotofunktion – lediglich eine Infrarot-

fernbedienung und ein Beugungsgitter geeigneter Gitterkonstante; z. B. 50 Striche pro Millimeter (alternativ können auch handelsübliche CDs als Reflexionsgitter oder preisgünstige Gitterfolien zum Einsatz kommen).

Der Versuchsaufbau ist denkbar einfach: Man bestrahlt das Kameraobjektiv mit der Fernbedienung und hält unmittelbar vor das Objektiv das optische Gitter.

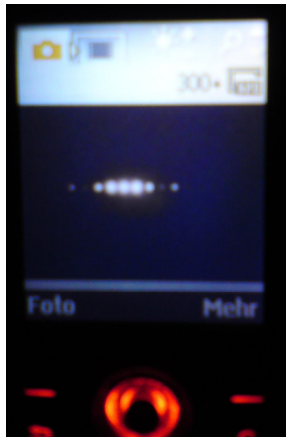


Abb. 5: Beugungsbild auf dem Handydisplay

Die Beugungsbilder können mit dem verwendeten Handy selbst fotografiert (Abb. 5) und zum Einkleben ins Schülerheft auf einen PC übertragen und ausgedruckt werden. In Abb. 6 wurde das linke Bild durch ein optisches Gitter mit 50 Strichen pro Millimeter und das rechte Bild durch eine Kreuzgitterfolie mit 900 Strichen pro Millimeter erzeugt.

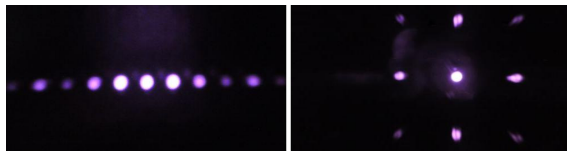


Abb. 6: Mit einer Infrarotfernbedienung und optischen Gittern erzeugte Beugungsbilder, aufgenommen mit einer Handycamera

3.3. Die Erzeugung einer akustischen Schwebung

Zur Erzeugung einer akustischen Schwebung benötigt man zwei Handys mit MP3-Funktion, die als Tongeneratoren zum Einsatz kommen.

Auf jedem der Mobiltelefone wird im Vorfeld des Versuchs ein Ton konstanter Frequenz gespeichert¹, wobei die beiden Töne einen Frequenzunterschied von nur wenigen Hertz aufweisen sollten. Der geringe Frequenzabstand gewährleistet, dass die bei der Überlagerung der beiden Töne entstehende Schwebung auch mit dem Gehör gut wahrgenommen werden kann (die Schwebungsfrequenz, also die Anzahl der Lautstärkeänderungen pro Zeit,

entspricht gerade dem Frequenzunterschied der beiden Ausgangstöne).

Zur Versuchsdurchführung müssen die beiden Handys in einem geringen Abstand zueinander platziert und die gespeicherten Töne unter Nutzung der MP3-Funktion wiedergegeben werden.

Will man die akustische Schwebung quantitativ untersuchen (Schwebungsfrequenz, Frequenz der Überlagerung), so kann das Signal mittels Mikrofon aufgefangan und dem Line-In einer Soundkarte zugeführt werden (Abb. 7). Die Auswertung erfolgt mit einschlägiger Tonanalysesoftware, z. B. Audacity [1] oder Cool Edit Pro [4].

Ein Versuchsbeispiel für die Ausgangsfrequenzen $f_1 = 500$ Hz und $f_2 = 501$ Hz ist in Abb. 8 dargestellt.

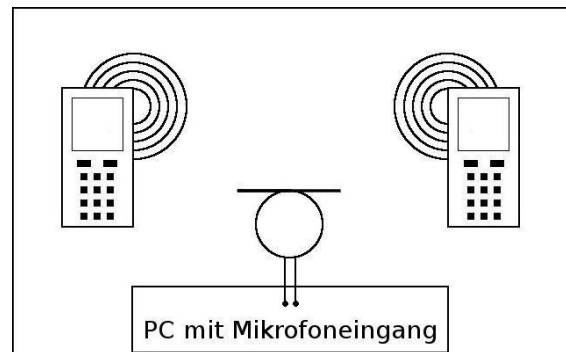


Abb. 7: Versuchsaufbau zur Erzeugung einer akustischen Schwebung; wenn der PC nicht über ein eingebautes Mikrofon verfügt, so kann auch ein Headset oder ein weiteres Handy zum Einsatz kommen.

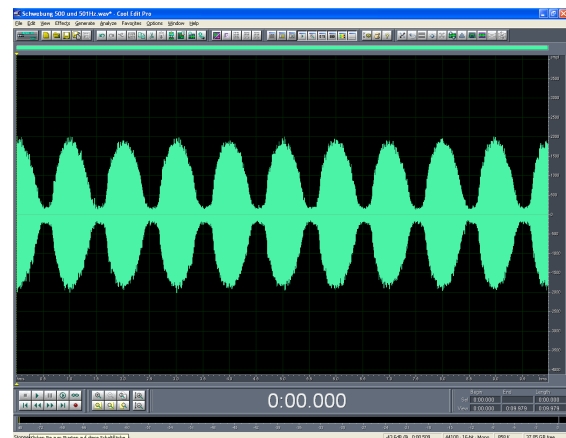


Abb. 8: Oszillogramm einer mit zwei Handys erzeugten akustischen Schwebung, dargestellt mit der Tonanalysesoftware Cool Edit Pro; eine Analyse des Oszillogramms ermöglicht die Bestimmung der Schwebungsfrequenz sowie der wahrgenommenen Tonfrequenz.

Möchte man eine vollkommene Schwebung erzielen, so ist darauf zu achten, dass bei gleicher Wiedergabelautstärke die Handys gleich weit vom Mikrofon entfernt sein müssen. Die gleiche Lautstärke kann im Vorfeld sichergestellt werden, indem man eines der Handys in einem definierten Abstand vor dem Mikrofon platziert und mit der verwendeten

¹ Die Töne lassen sich mit einer geeigneten Software generieren (z. B. mit [1] oder [11]) und via Bluetooth oder USB-Kabel auf die Handys übertragen.

Tonanalysesoftware die Lautstärke des ausgesandten Tons misst. Danach erfolgt eine analoge Messung für das zweite Handy, dessen Lautstärke entsprechend angepasst werden kann.

3.4. Die Bestimmung der Erdbeschleunigung

3.4.1. Aufbau und theoretischer Hintergrund des Experiments

Emittiert ein frei fallendes Mobiltelefon einen Ton¹ konstanter Frequenz f_0 , so lässt sich über die auftretende und mit der Fallgeschwindigkeit zunehmende Dopplerverschiebung die Erdbeschleunigung g recht genau bestimmen. Den prinzipiellen Versuchsaufbau zeigt die Abb. 9. Zu beachten ist, dass das Mikrofon unmittelbar neben dem Auftreffpunkt des Handys positioniert sein muss und der freie Fall – um eine Schädigung des Geräts zu vermeiden – durch ein weiches Kissen abgefangen wird.

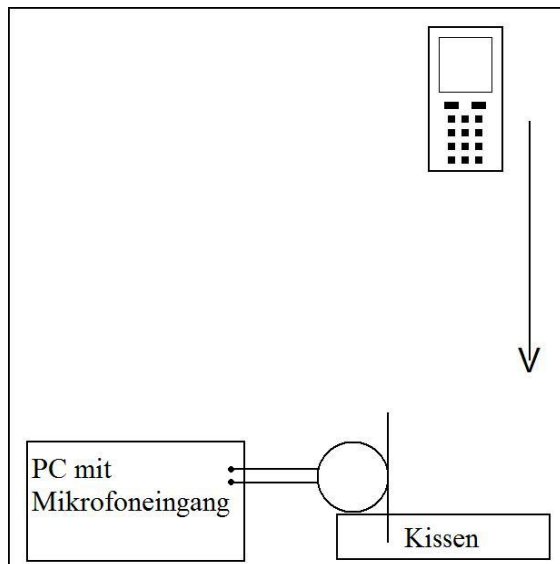


Abb. 9: Versuchsaufbau zur g -Bestimmung; das Mikrofon kann ggf. durch ein Headset oder ein weiteres Handy mit Diktierfunktion ersetzt werden.

Für die auftretende und mit dem PC zu messende Dopplerverschiebung Δf gilt in guter Näherung

$$\Delta f \approx f_0 \frac{v}{c} \quad [13] \quad \{1\}$$

(v Fallgeschwindigkeit des Handys, c Schallgeschwindigkeit in Luft) und mit $v = g \cdot \Delta t$

$$\Delta f \approx f_0 \frac{g \cdot \Delta t}{c} \quad \{2\}$$

(Δt Fallzeit). Ist die ausgesandte Frequenz konstant, so ist nach Gleichung {2} Δf näherungsweise proportional zu Δt und der Quotient

$$\frac{f_0 \cdot g}{c} \quad \{3\}$$

kann als Steigung m einer Geraden angesehen werden. Nach Aufnahme der Messwerte und Bestimmung

der Geradengleichung mittels linearer Regression kann die ermittelte Steigung zur Berechnung der Erdbeschleunigung herangezogen werden. Es gilt:

$$g \approx \frac{m \cdot c}{f_0} \quad \{4\}$$

3.4.2. Auswertung des Experiments

Die Abb. 10 zeigt ein Messbeispiel für ein aus einer Höhe von ca. 2,20 Meter fallendes Handy, welches einen Ton von 4 kHz emittiert². Die der Darstellung zugrundeliegenden Messwerte können aus der Grafik herausgelesen oder sehr komfortabel als TXT-Datei exportiert werden. Eine grafische Darstellung der zeitabhängigen Dopplerverschiebung geht aus Abb. 11 hervor; im Einklang mit der Theorie {2} ist die Frequenzänderung Δf offenkundig proportional zur Fallzeit Δt .

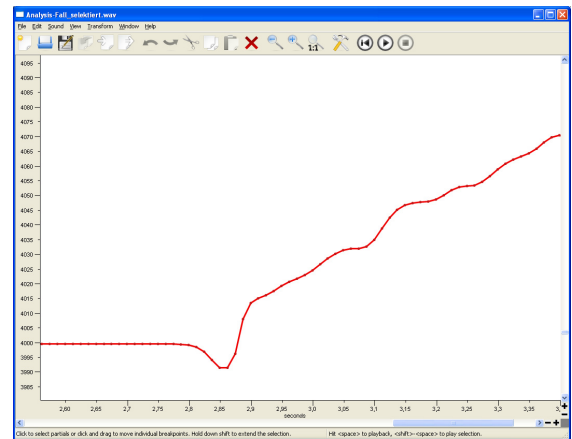


Abb. 10: Vom Mikrofon registrierter Frequenzverlauf, dargestellt mit der Auswertesoftware SPEAR [10]

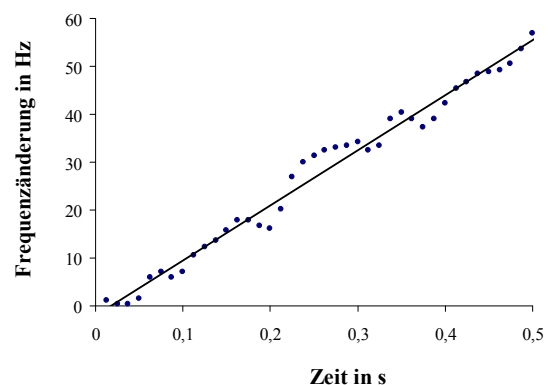


Abb. 11: Ergebnis der linearen Regression

² Da die Dopplerverschiebung mit der Ausgangsfrequenz zunimmt ($\Delta f \sim f_0$), sind zur Verringerung der Anforderungen an die Auswertesoftware sowie des relativen Fehlers möglichst hohe Frequenzen zu verwenden. Die Sendefrequenz wird jedoch vom Frequenzgang des Handylautsprechers und des verwendeten Mikrofons nach oben begrenzt, weshalb man sich – sofern keine Datenblätter vorliegen – experimentell an die für die Versuchsanordnung ideale Ausgangsfrequenz herantasten muss.

Anwenden der linearen Regression führt auf die Geradengleichung

$$\Delta f = 115 \frac{1}{s^2} \cdot \Delta t - 2,1 \text{ Hz}, \quad \{5\}$$

mit einem adjustierten Bestimmtheitsmaß von 0,98 und einem Steigungsfehler von $\pm 2 \text{ s}^{-2}$. Einsetzen der Zahlenwerte in {4} ergibt mit einer Schallgeschwindigkeit in Luft von 344 ms^{-1} (bei 20°C) die Fallbeschleunigung zu

$$g = (9,9 \pm 0,2) \frac{\text{m}}{\text{s}^2}. \quad \{6\}$$

Es zeigt sich, dass mit dem beschriebenen Vorgehen die Erdbeschleunigung mit einer für den Schulunterricht ausreichenden Genauigkeit bestimmt werden kann. Der Literaturwert von $9,81 \text{ ms}^{-2}$ liegt im Fehlerbereich der Messung.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Neben allseits bekannten negativen Effekten im Schulalltag können moderne Mobiltelefone den Physikunterricht an vielen Stellen bereichern und z. B. als Informations-, Dokumentations- wie auch als Experimentiermittel zum Einsatz kommen. Neben einer Reihe einfacher und naheliegender Versuche (z. B. „Handy in Alufolio“ – Abschirmung elektromagnetischer Felder; „Das Handy im Vakuum“ – Veranschaulichung der trägerfreien Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im Gegensatz zu Schallwellen; „Infrarotbeugung“ – Erzeugung von Beugungsbildern mit Hilfe einer Infrarotfernbedienung) sind auch anspruchsvollere Experimente mit dem Handy durchführbar. Hierzu zählt die vorgestellte Variante zur Bestimmung der Erdbeschleunigung, weitere Beispiele sind der in [9] vorgestellte Versuch zur Messung der Schallgeschwindigkeit oder Experimente unter Nutzung der Navigationsfunktion.

Um die Einsetzbarkeit des Handys im Physikunterricht weiter zu erhöhen, müssen neue Experimente entwickelt und die einschlägigen Datenbanken kostenloser und kommerzieller Handyanwendungen (dazu zählen z. B. die für die Smartphones erhältlichen Apps) durchforstet werden.

5. Danksagung

Wir danken Herrn Prof. Dr. Oliver Schwarz (Universität Siegen) für den dienlichen Hinweis, dass unter Nutzung einer Infrarotfernbedienung und einer Digitalkamera Beugungsbilder sehr einfach sichtbar gemacht werden können.

6. Literatur

- [1] Audacity (Freeware-Software zur Tonanalyse und -bearbeitung). Verfügbar unter: <http://audacity.sourceforge.net/?lang=de> [Stand: 05/2010]

- [2] Barmeier, M. et al (2006): Prisma Physik 7-10. Stuttgart, Leipzig: Ernst Klett Schulbuchverlage.
- [3] Cieplik, D. (Hrsg.) (2006): Erlebnis Physik. Ein Lehr- und Arbeitsbuch. Braunschweig: Bildungshaus Schulbuchverlage Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers.
- [4] Cool Edit Pro (Shareware-Software zur Tonanalyse und -bearbeitung; nach Beendigung des Testzeitraums geht lediglich die Speicherfunktion verloren, alle anderen Funktionen können weiterhin verwendet werden). Verfügbar unter: <http://de.brothersoft.com/Cool-Edit-Pro-126679.html> [Stand: 05/2010]
- [5] Dengler, R. (2003): Mobile Kommunikation – Experimente rund um eine weit verbreitete Hochfrequenztechnik. In: V. Nordmeier (2003), Didaktik der Physik. Beiträge zur Frühjahrstagung der DPG – Augsburg 2003. Berlin: Lehmanns.
- [6] Falcão, A. E. G. Jr.; Gomes, R. A.; Pereira, J. M.; Coelho, L. F. S.; Santos, A. C. F. (2009): The Physics Teacher, 47, S. 167-168
- [7] Gau, B.; Meyer, L.; Schmidt, G.-D. (2005): Physik Gesamtband Sekundarstufe I. Berlin: DUDEN PAETEC Schulbuchverlag.
- [8] Hammond, E. C.; Assefa, M. (2007): Cell Phones in the Classroom. The Physics Teacher, 45, S. 312
- [9] Mathelitsch, L., Verovnik, I. (2004): Akustische Phänomene. Praxisschriftenreihe Physik Band 61. Köln: Aulis Verlag Deubner.
- [10] SPEAR (Freeware-Software zur Auswertung von dynamischen Spektren). Verfügbar unter: <http://www.klingbeil.com/spear/> [Stand: 05/2010]
- [11] Test Tone Generator (Shareware-Stereo-Tongenerator). Verfügbar unter: <http://www.esseraudio.com/> [Stand 05/2010]
- [12] Villa, C. (2009): Bell-Jar Demonstration Using Cell Phones. The Physics Teacher, 47, S. 59
- [13] Vogt, P.; Schwarz, O.; Walther, A. (2004): Doppler-Messungen am Mikrofonpendel. In: PdN-Ph., 3, S. 8-10